

博士論文審査報告書

論 文 題 目

高吸水性ポリマー材を利用した地盤掘削安定液
の基本性状と場所打ち杭工法への適用

Utilization of a Superabsorbent Polymer Suspension
for The Cast In-situ Pile Construction

申 請 者

浅 野	均
Hitoshi	ASANO

2018年2月

安定液で掘削地盤の孔壁を保持する場所打ち杭工法は、1930年頃にヨーロッパで開発され、日本においては既製杭の打設に伴う騒音・振動が建設公害として社会問題化した1960年代から徐々に採用されるようになった。この場所打ち杭工法に用いられる地盤掘削安定液は、初期の頃はベントナイトを主材とした懸濁液であったが、地中連続壁工法における研究・開発を背景に、安定液の増粘性やろ水減少効果を目的にCMC (Carboxy-Methyl Cellulose) が1970年代より使用されはじめ、現在使用されている安定液はCMCを一部含むベントナイト系安定液が広く採用され、土質等の条件により配合割合を変化させて使用されている。

場所打ち杭工法の安定液は可能な限り繰り返し使用されるが、掘削土砂の混入やコンクリート打設時のセメント成分の影響などによって徐々に性能が低下する。この劣化した安定液は産業廃棄物の「汚泥」として処分されるが、近年、最終処分場の不足、遠隔化などの問題が顕在化している。また、従来のベントナイト系安定液は、実績は豊富である一方、孔壁にベントナイトが付着して杭の最大周辺摩擦力や有効杭径が減少することや鉄筋にベントナイトが付着して鉄筋の付着強度が低下するなどの品質上の課題があり、これらの課題の解決が望まれている。

本論文は、既往のベントナイト系に代わる新たな地盤掘削安定液として高吸水性ポリマー材(以下、ポリマー材)を懸濁した安定液を考案し、その基本的性状の調査と既往の場所打ち杭工法用掘削安定液との性能比較をもとに、産業廃棄物の低減や杭の品質改善につながることを、実験的に調査したものである。さらに、この安定液をアースドリル工法とリバース工法による場所打ち杭工法の現場に適用し、その管理手法を考案するとともに産廃処分量の低減及びコスト改善効果を実証している。

審査にあたっては、2017年11月23日に審査員予定者3名による予備審査会を実施し、専攻内縦覧に付してよい旨の判定を得た。11月23日から15日間の建設工学専攻における縦覧の後、12月7日の専攻会議で博士論文受理申請が承認され、12月21日の創造理工学研究科運営委員会で論文が受理された。2018年1月25日に公聴会を開催するとともに、4科目の学識確認を実施した。研究倫理については受理前に申請者が研究倫理科目を受講するとともに、論文の剽窃・盗用チェックを実施して問題のないことを確認した。

本論文は、序論から結論までの7章で構成されているが、以下に各章の概要と審査結果を述べる。

第1章は序論であり、ポリマー材を利用した安定液の開発の目的と地盤掘削用安定液として必要な機能を明らかにするとともに、本論文の構成と各章の概要を要約している。

第2章では、既往の地盤掘削用安定液全般について整理を行い、孔壁安定性や流動性に係る施工上の課題、場所打ち杭本体構造に与える影響などを明らかにしている。

また、建設分野でのポリマー材の利用例を調査し、この材料を地盤掘削用安定液に応用した場合における流動性・孔壁安定性・安定液の最終処分時の減量化などの優位性が期待できる機能を明らかにしている。

第3章では、高吸水性ポリマー安定液(以下、ポリマー安定液)を、場所打ち杭工法における孔壁の安定性と掘削、コンクリート置換性を成立させるために必要な粘性を配合・調整できることを前提とした「水(溶媒)と吸水膨張させたポリマー材が懸濁した溶液」と定義し、ポリマー材の材料特性とポリマー安定液の基本性状を実験的に解明している。

ポリマー安定液の基本性状を実験的に調査するために、ポリマー材の添加率とポリマー安定液の粘性及び比重の関係、使用溶媒の電気伝導率と吸水倍率との関係を実験的に明らかにしている。その結果、ポリマー材の吸水膨張の程度にかかわらず、ポリマー安定液の性能を支配する粘度はポリマー材に吸着された水分を除く余剰水率に依存することを示している。

第4章では、ポリマー安定液の場所打ち杭工法への適用性について、各種室内実験を通じて検証した内容を要約し、ポリマー安定液実用化への具体的な道筋が示されている。

まず施工上の課題となる孔壁安定性については、遮水性能を発揮できる適用地盤の粒径範囲がベントナイト系安定液よりも広く、かつ遮水性能を発揮するまでに要する時間も短いことが判明し、優れた遮水性能を有することを解明している。また、流動性については、ポリマー安定液のファンネル粘性を調査し、余剰水率とファンネル粘性の関係式を求めている。一方、適用深度については、掘削深度50m程度に相当する地下水圧下におけるポリマー安定液と水道水のベーンせん断抵抗を比較し、加圧に伴いポリマー安定液のベーンせん断抵抗は微増するものの水道水と同程度であることを確認している。

また、ポリマー安定液は、塩化カルシウムなどの二価の金属イオンを添加して溶媒の電気伝導率を上昇させることでポリマー材に吸着されていた水が分離する現象を利用して、廃液処分量の減量化が図ることができる。比重の異なるポリマー安定液の分離試験を実施し、安定液の比重が1.05以下であれば分離度70%以上が確保できることを確認している。

次に、場所打ち杭本体への影響を明らかとするために、コンクリートの置換性・杭本体の出来形に影響する泥膜厚さ・鉄筋とコンクリートとの付着性能に関する実験をおこなっている。まず、杭本体を造成するコンクリートの置換性については、水槽内に満たしたポリマー安定液にコンクリートを底部から打設して置換性に問題がないことを確認している。杭本体の出来形に関係する泥膜厚さについては、ポリマー安定液の場合は0.5mm程度で十分薄く、泥膜によるマッドケーキの増大で杭径を縮小させる恐れがないことが示されている。鉄筋とコンクリートとの付着性能への影響については、既往の安定液より付着応力度が約4~7%向上する結果が得られ、杭本体の品質向上が期待できる。

さらに、ポリマー安定液の環境特性についてもそれぞれ調査及び実験をおこない、環境破壊につながることもなく、かつ施工性を阻害することもなく、既往の安定液と比べ優れた特性を有した場所打ち杭工法の安定液として適用できることを確認している。

第5章では、第4章までに得られた室内実験結果に基づいて、ポリマー安定液を実際に現場で使用するための管理手法を検討している。管理項目及び管理限界値については、既往の安定液で通常使用するものにポリマー材の吸水特性に関係する使用溶媒の電気伝導率を加えた内容とし、現場管理手法としては、現場使用水及び地下水の調査、安定液の試験練り・配合計画、現場配合及び施工中の管理、安定液の破棄という手順でフロー図を準備している。

第6章では、第5章で考案したポリマー安定液の現場管理手法を実際の場所打ち杭施工(アースドリル工法2現場、リバーズ工法1現場)に適用し、その妥当性を検証している。施工中における深度方向でのポリマー安定液の比重・ファンネル粘性・電気伝導率は深度ごとにばらつきもなく一定していることを確認し、安定液として優れた性状を有しているとともに、第5章で示した管理手法が現場管理手法として使用できることを実証している。また、ポリマー安定液と既往の安定液との経済性比較では、約32%の材料コスト低減に加え、安定液及び掘削残土の産廃処分量の低減効果によるコスト低減により、ポリマー安定液はコスト改善効果が期待できる。

第7章は本論文の結論であり、本研究で得られた主要な結果を総括するとともに、今後の課題が要約されている。

以上を要するに、本論文は、既往のベントナイト系に代わる新たな地盤掘削安定液としてポリマー材を懸濁した安定液を考案し、その基本的性状の調査と既往の場所打ち杭工法用掘削安定液との性能比較をもとに、産業廃棄物の低減や杭の品質改善につながることを、実験的に調査したものである。さらに、この安定液を場所打ち杭工法の現場に適用し、その管理手法を考案するとともに産廃処分量の低減効果及びコスト改善効果を実証している。この成果は、土質基礎工学、地盤工学上の貢献大なるものと判断される。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2018年2月

審査員 主査 早稲田大学教授 工学博士(早稲田大学) 赤木寛一

副査 早稲田大学教授 工学博士(早稲田大学) 小泉 淳

早稲田大学教授 博士(工学)早稲田大学 小峯秀雄